

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-238421

⑬ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)11月27日

C 21 D 8/12

8218-4K

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 高抗張力無方向性電磁鋼板の製造方法

⑯ 特 願 昭59-93740

⑰ 出 願 昭59(1984)5月10日

⑱ 発 明 者	穴 戸 浩	千葉市川崎町1番地	川崎製鉄株式会社技術研究所内
⑱ 発 明 者	菅 孝 宏	千葉市川崎町1番地	川崎製鉄株式会社技術研究所内
⑱ 発 明 者	後 藤 聡 志	千葉市川崎町1番地	川崎製鉄株式会社技術研究所内
⑲ 出 願 人	川崎製鉄株式会社	神戸市中央区北本町通1丁目1番28号	
⑳ 代 理 人	弁理士 杉村 暁秀	外1名	

明 細 書

1. 発明の名称 高抗張力無方向性電磁鋼板の製造方法

2. 特許請求の範囲

1. Si : 3.5 ~ 7.0 重量%

を含み、かつ

Ti : 0.05 ~ 8.0 重量%、

W : 0.05 ~ 8.0 重量%、

Mo : 0.05 ~ 8.0 重量%、

Mn : 0.1 ~ 11.5 重量%、

Ni : 0.1 ~ 20.0 重量%、

Co : 0.5 ~ 20.0 重量%および

Al : 0.5 ~ 18.0 重量%

のうちから選んだ一種または二種以上を20.0重量%を超えない範囲において含有する鉄素鋼素材スラブを、熱間圧延によつて熱延板としたのち、100 ~ 800 °C の温度範囲における熱間圧延を繰返し施すことによつて0.1 ~ 0.85 mm の最終板厚とし、しかるのち850 ~ 1250 °C の温度範囲で仕上げ焼鈍を施すこ

とを特徴とする高抗張力無方向性電磁鋼板の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

技 術 分 野

高抗張力無方向性電磁鋼板の製造方法に関して、この明細書で述べる技術内容は、無方向性電磁鋼板につき、その成分組成の調整さらには熱延後の圧延加工に工夫を加えることによつて、軟磁気特性の劣化を招くことなしに抗張力の改善を図ることに関連している。

技 術 背 景

近年、エレクトロニクスを初めとする電気・電子機器の発展には目ざましいものがあるが、かような発展をより一層助長する因子の一つとして回転機器の高速運動化をあげることができる。というのは、これまでの回転機器において要求されていた回転数は、高々10万rpm程度であつたが、最近では20 ~ 30万rpmもの高回転数が要求さ

れるようになったからである。

ところでかような回転機器における高速回転化を実現するためには、当然のことながらかかる高速回転に耐え得る素材の開発が問題となる。すなわち回転機器回転子の回転数が20～80万rpmにも高速化すると、該回転子に加わる遠心力は従来に比較してはるかに大きくなるため、現行の材料では回転子が破壊に至る危険性が高いからである。

ここに遠心力 F は、たとえば第1図に示したような形状の円板を回転させた場合には、次式で近似される。

$$F = \frac{\rho r_2^2 w^2}{g} \cdot \frac{3m+1}{4m} \cdot \left(1 + \frac{m-1}{3m+1} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right)$$

ここで、 ρ ：材料の密度、 r_2 ：円板外径、 r_1 ：円板内径、 w ：角速度、 g ：重力の加速度、 m ：ポアソン比

上掲式から明らかなように、円板にはその回転数の2乗に比例して遠心力が加わるわけであるから、回転機器が高速回転化されたとすると、回転

ることが有利なわけである。

このように高速回転機器、中でも回転子に用いる素材としては、機械的には高抗張力、高強度を有し、一方磁気的には低保磁力や低鉄損という軟磁気特性を満足するものでなければならない。しかしながら一般的に、かかる機械的特性と軟磁気特性とは相反する関係にあるため、両性質を兼備させることは以下に述べるとおり極めて難しかったのである。

さて金属材料の機械的強度を高める方法としては、代表的なものに下表1に示したような強化法が知られている。

表 1

強化法	強化手段	特 徴
固溶体強化	合金添加	延性良
析出強化	合金添加 熱処理	高降伏点
細粒化強化	合金添加 熱処理	
組織強化	合金添加 熱処理	低降伏比、延性良 超高強度
加工強化	加工	超高強度

しかしながら上掲の各強化法の強化機構は、格子歪の増加、結晶粒径の微細化、加工歪および相変態などを利用するものであつて、いずれも強磁性体の磁壁移動を困難にさせるものであるため、強度の増加に伴い軟磁気特性を劣化させていたのである。

特開昭60-238421(2)

子に加わる力はかなり大きく場合によつては100 kg/mm²を超えることも考えられ、ここにかように苛酷な回転遠心力に耐え得る高抗張力の素材が必要とされているわけである。

また回転機器や磁気軸受の回転子は、電磁気現象を利用するものであることから、磁気特性それも軟磁気特性に優れていることも重要である。実際、誘導モータなどの回転子では高周波鉄損に優れていることが、また磁気軸受などの軸受回転子では保磁力が小さいことが必要とされる。

ここに回転機器の回転子回転数(N)と周波数(f)との関係は、次式のとおりに表わされる。

$$f = N \cdot P / 120 (1-S)$$

ここで P ：回転機極数

S ：すべり

従つてたとえば、2極回転機器を20～80万rpmで回転した場合を考えると、換算周波数は数KHz～数10KHzの範囲になるから、素材としては上記の周波数範囲で鉄損の低い磁性材料を用い

発明の目的

この発明は、高い抗張力を呈するだけでなく、低い高周波鉄損や低保磁力など軟磁気特性にも優れた材料、具体的には抗張力： 50 kg/mm^2 以上で、かつ磁束密度 B_{50} ：1.5 T以上、鉄損 $W_{10}/1000$ ： 100 W/kg 以下を満足する高抗張力無方向性電磁鋼板の製造方法を提案することを、目的とする。

発明の端緒

この発明は、前掲表1に示した種々の強化法を再検討した結果開発されたもので、各種強化法のうちでも固溶体強化法は、磁気特性への悪影響が比較的小さいこと、しかもかかる強化法に伴う磁気特性の劣化は、その製造工程に工夫を加えることによつて十分に補償し得ることの新規知見に立脚する。

第2図および第8図に、4% Si - Fe合金に、W, Mo, Ti, Mn, Ni, AlおよびCoをそれぞれ5%までの範囲で添加した組成になる各鋼スラブを、それぞれ1200℃に加熱したのち、熱間圧

延を施す)を含み、かつ

Ti：0.05～3.0%，W：0.05～3.0%，

Mo：0.05～3.0%，Mn：0.1～11.5%，

Ni：0.1～20.0%，Co：0.5～20.0%および

Al：0.5～18.0%のうちから選んだ一種または二種以上を20.0%を超えない範囲において含有する鉄系鋼素材スラブを、熱間圧延によつて熱延板としたのち、100～600℃の温度範囲における温間圧延を施して0.1～0.85mmの最終板厚とし、しかるのち850～1250℃の温度範囲で仕上げ焼鈍を施すことを特許とする高抗張力無方向性電磁鋼板の製造方法である。

以下この発明を具体的に説明する。

まず成分組成範囲を上記のとおりに限定した理由について述べる。

Si：8.5～7.0%

Si量が8.5%より少ないと、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相変態が生じ、電磁特性を著しく損うすなわち電気抵抗が低下して高周波鉄損が劣化すると同時に、機械的性質としても高強度になる。一方Si量が7.0%より

特開昭60-238421(3)

延を施して2mm厚の熱延板とし、ついで900℃で組織均一化のためのノルマライジング焼鈍を施したのち、冷間圧延を施して最終板厚0.15mmの冷延板とし、しかるのち950℃、10分間の焼鈍を施して得た各無方向性電磁鋼板の、鉄損 $W_{10}/1000$ および抗張力について調べた結果をそれぞれ示す。なお鉄損については4枚エプスタイン法により、また抗張力についてはJIS 1号試験片をインストロンにより測定した。

第2、8図より明らかなように、各固溶体強化元素の添加量が増すにつれて抗張力は向上するが、鉄損特性は逆に劣化する。

ところが上記の製造工程中、冷間圧延にかえて150℃の温度での繰返し温間圧延を適用したところ、鉄損特性の劣化抑止につき第4図に示したように、望外の成果が得られたのである。

この発明は、上記の知見に由来するものである。

発明の構成

この発明は、Si：8.5～7.0重量%（以下単

多いと鋼板が急激に脆くなつて、歩留り、生産性が悪化するとともに、飽和磁束密度も低下する。よつてSi含有量は、8.5～7.0%の範囲に限定した。

Ti, W, Mo, Mn, Ni, CoおよびAlは、固溶体強化成分として均等である。

Ti：0.05～3.0%

Ti量が、0.05%に満たないと抗張力の改善効果に乏しく、一方3.0%を超えると磁気特性が劣化するので、0.05～3.0%の範囲に限定した。

W：0.05～3.0%

W量が、0.05%より少ないと抗張力を高める効果が弱く、一方3.0%より多いと磁気特性が著しく劣化するので、0.05～3.0%の範囲に限定した。

Mo：0.05～3.0%

Mo量が、0.05%に満たないと抗張力の改善は期待できず、一方3.0%を超えると磁気特性が劣化するので、0.05～3.0%の範囲に限定した。

Mn：0.1～11.5%

Mn量が、0.1%より少量であると抗張力の改善効果に乏しく、一方11.5%より多量になると $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態を起こし、非磁性 γ 相の体積率が增大して磁気特性が著しく劣化すると同時に脆くなり、歩留り、生産性が悪化するので、0.1~11.5%の範囲に限定した。

Ni: 0.1~20.0%

Ni量が、0.1%に満たないと抗張力改善効果がほとんど期待できず、一方20.0%を超えると $\alpha \rightarrow \gamma$ 相変態を生じ、非磁性 γ 相が増大して磁気特性が劣化するので、0.1~20.0%の範囲に限定した。

Co: 0.5~20.0%

Co量が、0.5%未満では抗張力改善効果がほとんど認められず、一方20.0%を超えると不経済であると同時に硬磁性も呈するようになるので、0.5~20.0%の範囲に限定した。

Al: 0.5~18.0%

Al量が、0.5%に満たないと抗張力改善効果が期待できず、一方18%を超えると脆くなつて

製品化が困難になるので、0.5~18.0%の範囲に限定した。

なお上掲した固溶体強化元素は、それぞれ単独でもまた複合して添加することもできるが、複合添加の場合、その添加量が20.0%を超えると飽和磁束密度が低下し、磁気特性が劣化するので、20.0%以下の範囲で添加することが肝要である。

さて上記の適正範囲に成分調整された溶鋼は、造塊一分塊法または連続鑄造法で鋼スラブとされたのち、熱間圧延が施される。この熱間圧延において、熱延温度が800℃に満たないと割れが生じ易く、一方1350℃を超えるとスラブ表面が溶解することもあり、また不経済でもあるので、熱延温度は800~1350℃の範囲が好ましい。

つぎに必要に応じて、組織均一化のためにノルマライジング焼鈍を施すが、焼鈍温度が750℃未満では均一化に長時間を要し、一方1100℃を超えると焼鈍時間は短くて済むものの結晶粒径が不均一に粗大化するおそれが大きくなるので、焼鈍温度は750~1100℃の範囲とするのが好まし

い。

ついで得られた熱延板に温間圧延を施すわけであるが、このとき圧延温度が100℃未満では鉄損の改善効果に乏しく、また600℃を超えると不経済にもなるので、温間圧延温度は100~600℃の範囲とする必要がある。

かかる温間圧延によつて、製品の高周波領域における鉄損が効果的に改善されるわけであるが、その理由は次のとおりと考えられる。

すなわち通常の冷間圧延では、圧下率が上昇するにつれて転位密度が増加するため、集合組織的には冷延の最終安定方位を呈し、また仕上げ焼鈍後の結晶粒径は磁気特性を向上させるほど大きくはならないが、温間圧延の場合は、冷間圧延に較べて圧延による転位の集積は疎となるため、集合組織が尖鋭化することなく、圧延方向に対して無方向性になり、また結晶粒も大きいものが得られ易い。

なおこの温間圧延によつて、熱延板を最終板厚0.1~0.85mmまで圧延する。というのは板厚を

0.1mmより薄くしても磁気特性を向上させる効果は小さく、一方0.85mmよりも厚いと高周波鉄損特性の劣化が大きくなるからである。

しかるのち850~1250℃の温度範囲で仕上げ焼鈍を施す。焼鈍温度を上記の範囲としたのは、850℃未満では所定の磁性を得るのに長時間を要し、一方1250℃を超えると鋼板表面が溶解するおそれが大きいだけでなく、不経済でもあるからである。

実施例

実施例1

下表1に示す成分組成になる各鋼スラブを、1800℃に加熱してから熱間圧延を施して1.0mm厚の熱延板としたのち、900℃でノルマライジング焼鈍を行つた。ついで400℃の温度で温間圧延を繰返し施して最終的に0.1mmの板厚としたのち、この板に対して900℃温度で最終焼鈍を施した。

得られた各無方向性電磁鋼板の抗張力ならびに鉄損 $W_{10/1000}$ および磁束密度 B_{50} について調べ

た結果を表1に併記する。なお比較のため従来法に従い冷間圧延を施して得た鋼板についても同様な調査を行い、その結果も表1に示す。

表 1

	成分系	抗張力	鉄損(W10/1000)	磁束密度B ₅₀	圧延温度
比較例	4%Si-Fe	40kg/mm ²	88W/kg	1.62T	室温
、	1.5%Mn-4%Si-Fe	47、	95、	1.56、	、
発明例	1.5%Mn-4%Si-Fe	55、	88、	1.58、	400℃
、	1%W-4%Si-Fe	65、	90、	、	、
、	1%Ti-4%Si-Fe	51、	86、	、	、
、	2%Mn-4%Si-Fe	55、	90、	1.56、	、
、	2%Ni-4%Si-Fe	54、	73、	1.59、	、

表1に示した成績から明らかなように、この発明に従い得られた無方向性電磁鋼板は、従来材に比べて、磁気特性がさほど劣化することなしに抗張力が大幅に向上している。

実施例2

下表2に示した成分組成になる各鋼スラブを、1280℃に加熱してから熱間圧延を施して板厚1.5mmの熱延板とした。ついて900℃のノーマライジング焼鈍を施したのち、150℃の温度で温間圧延を繰返し施して最終板厚0.15mmの板材とした。これらの板材に980℃、2分間の最終焼鈍を施して得た各無方向性電磁鋼板の抗張力、鉄損W10/1000および磁束密度B₅₀について調べた結果を表2に併記する。

表 2

	成分系	抗張力	鉄損(W10/1000)	磁束密度(B ₅₀)	圧延温度
比較例	4.5%Si-Fe	40kg/mm ²	66W/kg	1.63T	室温
発明例	1%W-1%Mn-4.5%Si-Fe	73、	98、	1.60、	150℃
、	1%W-2%Ni-4.5%Si-Fe	75、	95、	1.61、	、

発明の効果

以上述べたようにこの発明によれば、無方向性電磁鋼板につき、その磁気特性をさほど劣化させることなく抗張力を格段に向上させることができる。

4. 図面の簡単な説明

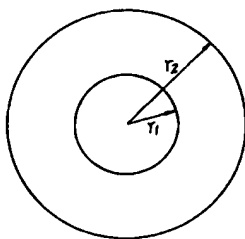
第1図は、内径 r_1 、外径 r_2 の円板の平面図、

第2図は、種々の固溶体強化元素が鉄損 $W_{10}/1000$ に及ぼす影響を示したグラフ、

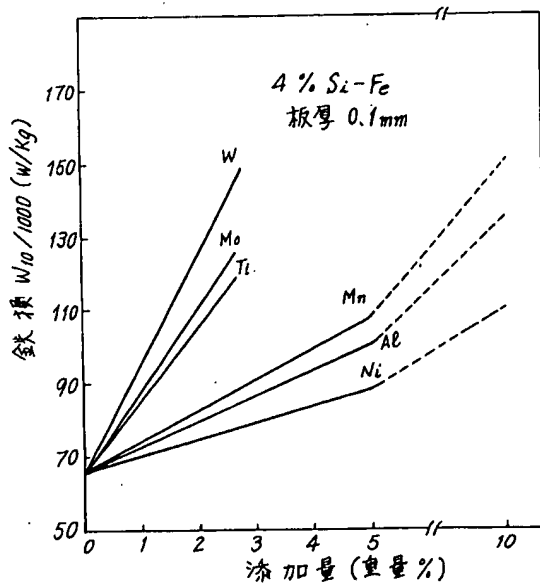
第3図は、同じく種々の固溶体強化元素が抗張力に与える影響を示したグラフ、

第4図は、この発明に従つて得られた無方向性電磁鋼板の各強化元素の添加量と鉄損 $W_{10}/1000$ との関係を示したグラフである。

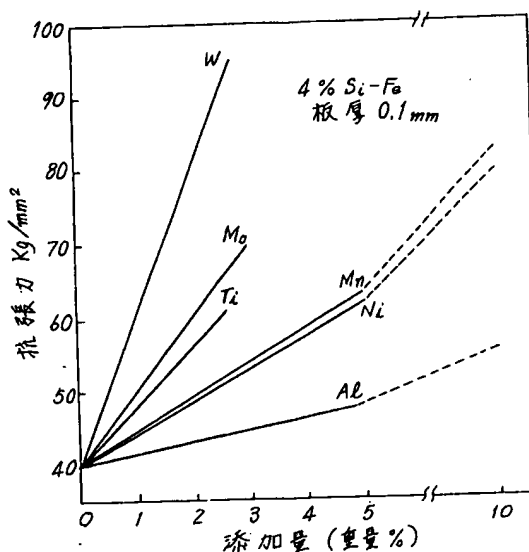
第1図



第2図



第3図



第4図

